



⑬ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 50 299 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:
B 23 K 26/00

②① Aktenzeichen: 198 50 299.0
②② Anmeldetag: 30. 10. 1998
④③ Offenlegungstag: 11. 5. 2000

DE 198 50 299 A 1

⑦① Anmelder:
Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
angewandten Forschung e.V., 80636 München, DE

⑦④ Vertreter:
PFENNING MEINIG & PARTNER, 01217 Dresden.

⑦② Erfinder:
Klotzbach, Anett, Dipl.-Ing., 01309 Dresden, DE;
Morgenthal, Lothar, Dr.-Ing., 01187 Dresden, DE;
Pollack, Dieter, Dipl.-Ing., 01277 Dresden, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:
DE 196 36 429 C1
DE 44 14 464 C1
DE 41 02 936 C2
DE 27 19 275 C2
DE 93 11 281 U1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Verfahren und Vorrichtung für einen lokal gezielten, punktwisen Wärmeeintrag mit einem Laserstrahl

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung für einen lokal gezielten, punktwisen Wärmeeintrag mit einem Laserstrahl auf die Oberfläche von translatorisch und/oder rotatorisch bewegten Werkstücken, bei dem die Vorschubbewegung des/der Werkstücke(s) durch eine dieser Vorschubbewegung nachfolgende Auslenkung des Laserstrahls kompensiert wird. Aufgabengemäß sollen mit der Erfindung auch solche Werkstücke bearbeitet werden können, deren Oberfläche auch konturiert ausgebildet ist. Erfindungsgemäß wird dabei so vorgegangen, daß der Strahlfleck auf einem vorgebbaren Punkt gehalten wird, so daß eine Relativbewegung zwischen dem vorgegebenen Punkt auf einem Werkstück und dem Strahlfleck über einen vorgegebenen Zeitraum für einen definierten Wärmeeintrag verhindert werden kann.

DE 198 50 299 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Dabei kann die erfindungsgemäße Lösung für die verschiedensten Werkstücke, nahezu unabhängig von den entsprechenden Materialien, deren Größe und besonders deren Oberflächen-gestaltung, eingesetzt werden. Es wird eine sogenannte Hybridlösung verwendet, bei der ein zu bearbeitendes Werkstück und gleichzeitig mindestens ein für die Bearbeitung eines solchen Werkstückes benutzter Laserstrahl bewegt werden. Dadurch kann die Bearbeitungszeit und demzufolge auch die Bearbeitungsgeschwindigkeit entsprechend erhöht werden.

Solche Lösungen sind insbesondere aus der Verpackungs-industrie bekannt.

So wird in EP 0 357 841 B1 ein Verfahren zur Herstellung von Einkerbungen in ein- oder mehrlagiges Verpackungsmaterial durch örtliche Verdampfung eines Teiles dieses Materials unter Verwendung eines Laserstrahls beschrieben. Das mit den Einkerbungen zu versehende Verpackungsmaterial wird dabei von einer Rolle abgerollt und an mindestens einem, um zwei orthogonal zueinander ausgerichtete Achsen, auslenkbaren Laserstrahl vorbei geführt, wobei die Verpackungsmaterialbahn mit im wesentlichen gleicher, einstellbarer Geschwindigkeit transportiert wird. Die Auslenkung des Laserstrahls erfolgt durch musterabhängige Steuersignale, entsprechend der Anordnung der gewünschten einzubringenden Einkerbungen. Der Laserstrahl wird hierbei, wie bereits erwähnt, entsprechend ausgelenkt und die Brennweite des Laserstrahls so eingestellt, daß der Brennpunkt auf der Oberfläche der Verpackungsmaterialbahn gehalten wird, wobei lediglich der jeweilige Auslenkungswinkel des Laserstrahls kompensiert wird. Für die Ausbildung der Einkerbungen wird bei dieser bekannten Lösung zusätzlich nur noch die Laserstrahlintensität variiert.

Daneben ist in WO 97/13611 A1 ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Schneiden, Perforieren oder Beschriften wiederkehrender Muster in kontinuierlich bewegtes Flachmaterial beschrieben. Das Schneiden, Perforieren oder Beschriften wird hier, wie auch bei der vorab genannten EP 0 357 841 B1 ausschließlich durch örtliche Verdampfung des Materials mit dem steuerbaren Laserstrahl erreicht.

Bei beiden bekannten Lösungen wird auch die Geschwindigkeit, mit der das flache Material bewegt wird, detektiert und das gemessene Geschwindigkeitssignal für die Manipulierung des Laserstrahls benutzt. Nach der in WO 97/13611 A1 beschriebenen Lösung ist es außerdem erforderlich, Knick- oder Falzkanten zu detektieren und auch diese Signale für die Ansteuerung des Strahlableitensystems zu benutzen. Es werden ebenfalls nur der Brennpunkt und die Laserintensität variiert.

Mit den bekannten Lösungen ist es jedoch nicht möglich, beliebige Werkstücke, d. h. unter Verwendung verschiedenster Materialien, Materialstärken und Oberflächenstrukturen, auch in dreidimensionaler Form, zu bearbeiten. Weiterhin besteht keine Möglichkeit, den Wärmeeintrag, der punktweise auf der Oberfläche auch von strukturierten Werkstückoberflächen, in definierter Höhe zu erreichen.

Es können auch keine hochpräzisen Punktschweißverbindungen an zwei miteinander zu verbindenden Werkstücken erreicht werden.

Ein weiteres Problem, das mit den bekannten Lösungen nicht lösbar ist, besteht darin, daß bei bewegten Werkstücken nicht ohne weiteres Bohrungen oder Einschnitte mit größerer Tiefe in das Werkstück eingebracht werden können, ohne daß eine kegelförmige Aufweitung einer solchen

Bohrung oder eines solchen Einschnittes in Richtung der Werkstückoberfläche vermieden werden kann. Mit den bekannten Verfahren ist es also nicht möglich, in bewegte Werkstücke mit einem Laserstrahl Bohrungen einzubringen, deren Innendurchmesser über die gesamte Bohrungstiefe nahezu konstant ist und die gesamte Bohrung mit ihrer Längsachse orthogonal zur Bewegungsrichtung des Werkstückes ausgerichtet ist.

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung vorzuschlagen, mit der ein definierter Wärmeeintrag, lokal gezielt und punktweise auf die Oberfläche eines translatorisch und/oder rotatorisch bewegten Werkstückes erreicht werden kann, wobei solche Werkstücke an ihrer Oberfläche auch konturiert ausgebildet sein können.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungsformen und Weiterbildungen der Erfindung, ergeben sich mit den in den untergeordneten Ansprüchen genannten Merkmalen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird aufbauend auf den bekannten Lösungen ein Laserstrahl in mindestens einer Achse ausgelenkt, wobei bei der Auslenkung die translatorische und/oder rotatorische Bewegung des entsprechenden Werkstückes berücksichtigt wird und die Auslenkung des Laserstrahls in der Form erfolgt, daß sich der Vorschubbewegung des bzw. mehrerer Werkstücke nachfolgt. Mit dieser Kompensation der Vorschubbewegung kann der Strahlfleck des Laserstrahls auf einem vorgegebenen Punkt gehalten werden, so daß eine Relativbewegung zwischen diesem Punkt und dem bzw. den Werkstücken und dem Strahlfleck des Laserstrahls über einen vorgegebenen Zeitraum verhindert wird. Dadurch kann ein definierter Wärmeeintrag durch die entsprechende Zeit punktförmig in das Werkstück erfolgen.

Ein solcher Punkt ist bei den verschiedenen Werkstücken und durch möglichen Materialabtrag, infolge des Wärmeeintrages nicht nur durch zwei Koordinaten x , y eines kartesischen Koordinatensystems definiert, sondern seine Lage kann auch entlang einer dritten, orthogonal zu den beiden anderen Achsen ausgerichteten z -Achse variieren. Für einen Ausgleich der Lage eines solchen Punktes entlang dieser z -Achse kann eine Strahlformungseinheit verwendet werden, mit der die Fokussierung des Laserstrahls entsprechend variiert werden kann, so daß der Strahlfleck mit gleicher Größe während des vorgegebenen Zeitraumes, bei dem die Vorschubbewegung durch Auslenkung des Laserstrahls kompensiert wird, konstant gehalten werden kann.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung kann in sehr einfacher Form und sehr exakt ein ganz bestimmter Wärmeeintrag über einen Punkt auf der Oberfläche eines Werkstückes in reproduzierbarer Form erfolgen, wie dies z. B. bei einer Wärmebehandlung (lokal definiertes Härten bzw. Weichglühen), beim Punktschweißen oder bei der Ausbildung von tieferen Einschnitten und Bohrungen in ein bewegtes Werkstück erforderlich sein kann.

Soll ein solcher Wärmeeintrag an verschiedenen Orten eines entsprechenden Werkstücks erfolgen, oder es wird ein gepulster Laserstrahl verwendet, kann die oben beschriebene Kompensierung der Vorschubbewegung des/der Werkstücke(s) in vorgebbaren Zeit-Intervallen durchgeführt werden.

Die Auslenkung des Laserstrahls erfolgt dabei jedoch generell unter vollständiger Berücksichtigung der Vorschubbewegung, d. h., es wird sowohl die Bewegungsrichtung, wie auch die Geschwindigkeit der Vorschubbewegung berücksichtigt, so daß der Strahlfleck des ausgelenkten Laserstrahls für die gewählte Zeit dem jeweilig ausgewählten Punkt folgt.

Nachdem der definierte Wärmeeintrag an einem Punkt erfolgt ist, kann der Laserstrahl in eine Ausgangslage zurückgeführt oder auf einen neuen Punkt auf der Oberfläche des entsprechenden Werkzeuges gerichtet werden und an dem entsprechend neuen Punkt die Kompensation und ein Wärmeeintrag, wie beschrieben, wiederholt werden.

Da die verschiedenen Werkstücke nicht nur geradlinig bewegt werden, bzw. die mit einem Wärmeeintrag zu beaufschlagenden Punkte nicht auf einer Linie parallel zur Vorschubbewegungsrichtung liegen, ist es erforderlich, den Laserstrahl in mindestens zwei Achsen, die orthogonal zueinander ausgerichtet sind, auszulenken.

Vorteilhaft ist es außerdem, den auf die Werkstückoberfläche gerichteten Laserstrahl mittels einer Strahlformungseinheit dem jeweiligen Abstand des vorgegebenen Punktes entsprechend zu fokussieren, so daß die Größe des Strahlfleckes konstant gehalten werden kann. Dies ist einmal erforderlich, wenn durch eine entsprechende Gestaltung der Werkstückoberfläche unterschiedliche Abstände ausgeglichen werden müssen und zum anderen, wenn die Lage des Punktes durch einen entsprechenden Materialabtrag, wie er bei der Ausbildung einer Bohrung auftritt, ausgeglichen werden muß. Im letztgenannten Fall wird der Laserstrahl gleichzeitig ausgelenkt und neu fokussiert. Es ist jedoch nicht in jedem Fall erforderlich, den Brennpunkt so zu beeinflussen, daß er mit dem Strahlfleck auf der Werkstückoberfläche übereinstimmt.

Günstigerweise wird der Abstand mit einem entsprechenden Abstandssensor für jeden einzelnen Punkt bestimmt und das gemessene Abstandssignal beeinflusst eine Steuerung, die wiederum die Strahlformungseinheit entsprechend beeinflusst, um die Fokussierung in der gewünschten Form einzustellen.

Für die Auslenkung des Laserstrahls kann mindestens ein Umlenkspiegel, bevorzugt jedoch zwei solcher Umlenkspiegel (auch Scannerspiegel genannt) verwendet werden, die mit einem galvanometrischen Antrieb, jeweils um eine Achse verschwenkt werden können, wobei die Antriebe für die Umlenkspiegel ebenfalls von der Steuerung, die auch die Strahlformungseinheit beeinflusst, aktiviert werden können. Wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ein gepulster Laserstrahl verwendet, ist es vorteilhaft den bzw. die Umlenkspiegel in bestimmten Winkeln stufenweise zu verschwenken, wobei die Schwenkbewegung entsprechend der Pulsfrequenz des Laserstrahls unter Berücksichtigung der Vorschubbewegungsgeschwindigkeit synchronisiert wird.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren besteht die Möglichkeit, in einem Werkzeug, das aus den verschiedensten Materialien bestehen und das auch die verschiedensten Formen aufweisen kann, mindestens eine Bohrung auszubilden, die als Durchgangsbohrung oder als sogenanntes Sackloch ausgebildet sein kann, wobei trotz der Vorschubbewegung eine Bohrung hergestellt werden kann, die über ihre gesamte Tiefe einen nahezu konstanten Innendurchmesser aufweist und nur eine äußerst geringe kelchförmige Aufweitung in Richtung Werkstückoberfläche zu verzeichnen ist. Außerdem kann eine solche Bohrung mit ihrer Längsachse orthogonal zur Werkstückoberfläche ausgerichtet, ausgebildet werden.

Mit der erfindungsgemäßen Lösung können auch mehrere Bohrungen achsparallel zueinander ausgerichtet in einem solchen Werkstück ausgebildet werden. Dadurch ist die Möglichkeit gegeben, in den verschiedensten Konturen eine Sollbruchstelle vorzugeben, so daß ein bestimmter Teil des Werkstückes entsprechend der Kontur, bei Überschreiten einer definiert vorgebbaren Kraft, aus dem Werkstück herausgebrochen werden kann.

Aus dekorativen Gründen kann es erforderlich sein, daß

solche Bohrungen nicht durch das gesamte Werkstück, in der gesamten Dicke geführt sind, sondern ein bestimmter Materialanteil unbeeinflusst bleibt, so daß die Bohrungen, wie die sogenannten Sacklöcher ausgebildet sind. In diesem Fall ist es günstig, daß gleichzeitig die Tiefe der jeweiligen Bohrung gemessen wird, so daß eine bestimmte Bohrtiefe eingehalten werden kann.

Für Werkstücke, die in Abtragsrichtung eine unterschiedliche Dicke aufweisen, ist es zweckmäßig, auch die Dicke eines solchen Werkstückes orts aufgelöst an dem jeweilig vorgegebenen Punkt bzw. Bohrung zu bestimmen, so daß die Restmaterialdicke durch unterschiedliche Bohrungstiefen mehrerer Bohrungen konstant gehalten werden kann, was sich insbesondere für den Fall der Ausbildung einer gezielten Sollbruchstelle an einem Werkstück vorteilhaft auswirken kann.

Ein entsprechender Anwendungsfall besteht darin, daß in einer Instrumententafel eines Kraftfahrzeuges ein Airbagöffnungsbereich ausgebildet werden soll. Hierbei werden der Kontur des Airbagöffnungsbereiches entsprechend in gleichmäßigen Abständen parallele Bohrungen in eine solche Instrumententafel eingebracht, wobei es aus Sicherheitsgründen erforderlich ist, daß die Abstände, die Innendurchmesser und die verbleibende Restmaterialdicke an jeder Bohrung konstant gehalten ist. Dies bedeutet, daß die Bohrungstiefe in Abhängigkeit der lokal zu verzeichnenden Werkstückdicken einer solchen Instrumententafel zu berücksichtigen ist, so daß bei Auslösen eines Airbags der Airbagöffnungsbereich ohne weiteres aus der Instrumententafel durch Bruch der mit den Bohrungen vorgegebenen Sollbruchstelle erfolgen kann. Bei diesem Anwendungsfall kann die verbleibende Restmaterialdicke an einer Kante des Airbagöffnungsbereiches geringfügig, durch Variation der Bohrtiefen in diesem Kantenbereich größer sein, als an den anderen Kantenbereichen, so daß diese Kante Scharnierfunktion übernehmen kann.

Vorteilhaft können für jedes bearbeitete Werkstück die Positionskoordinaten der entsprechenden einzelnen Punkte und zumindest die gemessene Tiefe der einzelnen Bohrungen in digitalisierter Form in ein elektronisches Speichermedium eingegeben werden, so daß ein entsprechender Nachweis nachträglich für jedes bearbeitete Werkstück erbracht werden kann.

Mit der Erfindung kann ein Wärmeeintrag in Werkstücke mit hoher Präzision und Reproduzierbarkeit erfolgen, so daß eine gezielte Bearbeitung bzw. Beeinflussung eines Werkstückes oder des Werkstoffes orts aufgelöst erreichbar ist.

Nachfolgend soll die Erfindung an Beispielen näher beschrieben werden.

Dabei zeigen:

Fig. 1 ein einfaches Beispiel einer Vorrichtung zur Ausbildung von achsparallelen Bohrungen in einem geradlinig bewegten Werkstück;

Fig. 2 in drei Bewegungsschritten, die Ausbildung einer Bohrung in einem geradlinig bewegten Werkstück;

Fig. 3 schematisch den Querschnitt einer Bohrung, die mit drei Laserpulsen ohne Vorschubbewegungskompensation in einem Werkstück ausgebildet wird;

Fig. 4 eine schematische Darstellung für die Ausbildung einer Bohrung, mit ebenfalls drei Laserpulsen, jedoch mit Vorschubbewegungskompensation;

Fig. 5 den schematischen Aufbau einer Vorrichtung, mit der in ein geradlinig bewegtes, eine gewölbte Oberfläche aufweisendes Werkstück einer vorgegebenen Kontur folgend, Bohrungen ausgebildet werden können.

Fig. 6 zwei durch Punktschweißung verbundene Werkstücke.

In der **Fig. 1** ist ein sehr einfaches Beispiel dargestellt, bei

dem mit einer Vorrichtung in einem translatorisch geradlinig bewegten Werkstück 1 Bohrungen 11 ausgebildet werden können. Ein aus einer Laserlichtquelle 9 über einen um eine Achse verschwenkbaren Umlenkspiegel 4 gerichteter Laserstrahl wird so auf die Oberfläche des Werkstückes 1 gerichtet. Die hier gepulst betriebene Laserlichtquelle 9 ist mit einer elektronischen Steuerung 10, z. B. einem herkömmlichen Personalcomputer verbunden, mit dem z. B. die Pulsfrequenz der Laserlichtquelle 9 entsprechend beeinflusst werden kann. Die elektronische Steuerung 10 ist außerdem mit dem Antrieb des Umlenkspiegels 4 verbunden, so daß dieser, bevorzugt bei gepulstem Betrieb der Laserlichtquelle 9, in bestimmten Winkelschritten verschwenkt werden kann.

Für die Ausbildung einer Bohrung, im translatorisch bewegten Werkstück 1, wobei der links eingezeichnete Pfeil die Vorschubbewegung erkennen läßt, wird ein Laserpuls des Laserstrahls 2 auf die Oberfläche gerichtet. Im Anschluß daran der Umlenkspiegel 4 um einen bestimmten Winkelbetrag verschwenkt, so daß der folgende Laserpuls wieder auf den gleichen Punkt der Werkstückoberfläche des Werkstückes 1 gerichtet wird, wie dies bei dem ersten Laserpuls der Fall der war. Dieser Vorgang kann so oft wiederholt werden, bis die Bohrung 11 in der gewünschten Tiefe ausgebildet ist. Zu diesem Zeitpunkt wird der Umlenkspiegel 4 wieder in die Ausgangsstellung zurückverschwenkt und der Vorgang kann für die Ausbildung einer nächstfolgenden Bohrung 11, die achsparallel zu den vorhergehenden Bohrungen 11 angeordnet ist, wiederholt werden.

Dieses Vorgehen ist schematisch in drei Stufen, für drei Laserpulse zur Ausbildung einer Bohrung 11, bei fortschreitendem Werkstück 1 dargestellt.

Bei den in den Fig. 1 und 2 gezeigten einfachen Beispielen, wird auf eine Korrektur der Fokussierung des Laserstrahls entsprechend des veränderten Abstandes, infolge des Materialabtrages, nach jedem Laserpuls verzichtet. Eine entsprechende Korrektur ist jedoch für viele Anwendungsfälle zweckmäßig, worauf nachfolgend noch zurückzukommen sein wird.

In der Fig. 3 ist schematisch dargestellt, wie die Form einer solchen Bohrung 11, ohne eine entsprechende Kompensation der Vorschubbewegung des Werkstückes 1 ausgebildet wird. Dabei ist in der oberen Darstellung erkennbar, wie der Innendurchmesser einer so hergestellten Bohrung sukzessive sich in Richtung auf die Oberfläche des Werkstückes, bei einem gepulsten Laserstrahl in Stufen kelchförmig erweitert, da jeder Laserpuls auch Material infolge der Vorschubbewegung des Werkstückes 1 abträgt. Dabei ist der obere Teil der Bohrung mit dem größten Innendurchmesser infolge des Einflusses der drei nacheinander auf die Oberfläche des Werkstückes 1 gerichteten Laserpulse, der mittlere Teil mit dem mittleren Innendurchmesser durch zwei Laserpulse und der Teil mit dem kleinsten Innendurchmesser durch einen und zwar den letzten Laserpuls, erhalten worden.

Demgegenüber kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren der Wärmeeintrag auf einen Punkt des Werkstückes 1 so beeinflusst werden, daß eine Bohrung 11 erhalten werden kann, wie sie schematisch in der Fig. 4 dargestellt ist. Insbesondere in der unteren Darstellung ist erkennbar, daß die Abweichung des Innendurchmessers im unteren Teil vom Innendurchmesser an der Oberfläche des Werkstückes 1 sehr gering ist, so daß gegenüberliegende Seiten der Bohrung 11, nahezu parallel ausgerichtet sind und gleichzeitig die Längsachse der so hergestellten Bohrung 11 nahezu orthogonal zur Oberfläche des Werkstückes ausgerichtet werden kann.

In der Fig. 5 ist ein Beispiel einer erfindungsgemäßen

Vorrichtung dargestellt, mit der ein komplexer geformtes Werkstück 1, hier eines mit gekrümmter Kontur, bearbeitet werden kann.

Das Werkstück 1 ist hier auf einer nicht dargestellten Werkzeugaufnahme fixiert, die mittels einer ebenfalls nicht dargestellten CNC-Steuerung entlang einer Achse translatorisch bewegt werden kann. Es handelt sich in dieser Darstellung um die y-Achse, die mit einem Doppelpfeil dargestellt ist.

Zur Verkürzung der Standzeiten einer solchen Vorrichtung können auch zwei solcher Werkzeugaufnahmen, wie dies in Fig. 5 mit dem gezeigten zweiten Werkstück 1 angedeutet ist, verkürzt werden, da der Austausch eines fertig bearbeiteten Werkstückes 1 gegen ein noch nicht bearbeitetes Werkstück an einer Werkzeugaufnahme erfolgen kann, während das andere Werkstück 1 auf der anderen Werkzeugaufnahme bearbeitet wird.

Der Laserstrahl 2, einer hier ebenfalls nicht dargestellten Laserlichtquelle, die bevorzugt ein gepulster CO₂-Laser sein kann, wird über einen starren Umlenkspiegel 13 auf einen Umlenkspiegel 4 gerichtet, der jedoch um eine Achse verschwenkt werden kann. Mit dem Umlenkspiegel 4 wird der Laserstrahl 2 auf einen zweiten Umlenkspiegel 5, der bei diesem Beispiel in einem Bearbeitungskopf 8 aufgenommen ist, gerichtet und mit dem Umlenkspiegel 5 auf die Oberfläche des Werkstückes 1 gerichtet.

Eine Strahlformungseinheit 3 kann bei diesem Beispiel als Teleskop zwischen dem starren Umlenkspiegel 13 und dem schwenkbaren Umlenkspiegel 4 ausgebildet sein. Die Strahlformung kann aber auch durch entsprechende Bewegung des Bearbeitungskopfes 8, in der Fig. 5 in Richtung der x-Achse oder der z-Achse durchgeführt werden.

Da bei diesem Beispiel ein gekrümmtes Werkstück 1 bearbeitet werden soll, ist es zweckmäßig, den jeweiligen Abstand der Werkstückoberfläche mit einem Abstandssensor 6 ortsaufgelöst zu messen, so daß die Strahlformungseinheit 3 oder der Bearbeitungskopf 8 entsprechend manipuliert werden können, so daß die Größe des Strahlflecks auf der Oberfläche des Werkstückes 1 unabhängig vom jeweiligen Abstand konstant gehalten werden kann.

Am Bearbeitungskopf 8 ist außerdem ein Bohrtiefensensor 12 angeordnet, mit dem die jeweilige Bohrtiefe einer Bohrung 11 gemessen und die Laserlichtquelle in Verbindung mit Umlenkspiegel 4 und Bearbeitungskopf 8 entsprechend gesteuert werden kann, so daß eine vorgegebene Bohrtiefe jeder einzelnen Bohrung 11 eingehalten werden kann.

Der hier dargestellte Bearbeitungskopf 8 hat mehrere Freiheitsgrade, außer den bereits in x-Achsen und z-Achsen erwähnten. Er kann zusätzlich um die c-Achse und um die b-Achse verschwenkt werden, wobei das Verschwenken um die b-Achse auch durch ein entsprechendes Verschwenken des Umlenkspiegels 5, der im Bearbeitungskopf 8 aufgenommen ist, erfolgen kann.

Die CNC-Steuerung kann nicht nur die Bewegung des Werkstückes 1 beeinflussen, sondern es ist zweckmäßig, auch die Steuerung der Laserlichtquelle, der optischen Elemente für die Auslenkung und Formung des Laserstrahls 2 mittels der CNC-Steuerung zu realisieren. Dadurch kann auf die Messung der Vorschubgeschwindigkeit bzw. des Vorschubweges verzichtet werden. Außerdem können die Meßsignale der Sensoren 6, 7 und 12 in der CNC-Steuerung verarbeitet und berücksichtigt werden.

Bei dem in Fig. 5 gezeigten Beispiel ist ein zweiter Abstandssensor 7 erkennbar, der von der anderen Seite auf die entsprechende Oberfläche des Werkstückes 1 gerichtet ist. Mit diesem kann in Verbindung mit dem erstgenannten Abstandssensor 6, der hier am Bearbeitungskopf 8 angeordnet

ist, die jeweilige Dicke des Werkstückes 1 orts aufgelöst bestimmt werden. Dadurch können zum einen Werkstückdickenschwankungen, auch solche die infolge Werkstücktoleranzen oder infolge Werkstückgestaltung vorhanden sind, berücksichtigt werden. Dies wirkt sich, wie bereits im allgemeinen Teil der Beschreibung erwähnt, insbesondere dann vorteilhaft aus, wenn Bohrungen 11 in einem Werkstück 1 hergestellt werden sollen, die eine bestimmte Restmaterialdicke bis zur unbearbeiteten Oberfläche eines solchen Werkstückes 1 sichern müssen.

Bei den in Fig. 5 gezeigten Werkstückchen 1 sollen eine Vielzahl von Bohrungen, die einer bestimmten Kontur folgen sollen, hier in Form annähernd eines Rechteckes, ausgebildet werden. Dabei muß bei der Bearbeitung beachtet werden, daß sich die Vorschubgeschwindigkeit des Werkstückes 1 immer dann stark ändert, wenn die Bohrungen nicht parallel zur Bewegungsrichtung des Werkstückes 1 ausgebildet werden sollen, sondern deren Lage in z-Achsenrichtung abweichen muß. Dabei sind insbesondere die Eckbereiche kritisch, da dort gleichzeitig eine Vorschubbewegung in y-Achse des Werkstückes und eine gezielte Auslenkung des Strahlflecks in z-Achsenrichtung erfolgt. In diesem Fall muß die elektronische Steuerung, insbesondere die Laserpulsfrequenz entsprechend synchronisieren.

Um entstehende Gase oder Dämpfe aus dem Einflußbereich des Laserstrahls 2 oberhalb der Oberfläche des Werkstückes 1 zu halten, kann vorteilhaft eine oder mehrere Düsen verwendet werden, mit denen Druckluft oder ein inertes Gas eingeblasen wird, so daß eine Absorption durch die Gase bzw. Dämpfe des Laserstrahls 2 vermieden werden.

Erfolgt der Materialabtrag im Werkstück 1 nicht durch Verdampfen, sondern es wird, wie beim Laserschweißen, so verfahren, daß mit dem Laserstrahl 2 eine Schmelze erzeugt wird, kann diese mit einem entsprechenden Druckgasstrahl weggeblasen werden, wobei jedoch zu beachten ist, daß feste oder flüssige abgeblasene Materialpartikel die optischen Elemente nicht negativ beeinflussen können.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Führung des Laserstrahles 2 mit Hilfe eines Armes eines Industrieroboters zumindest zu unterstützen. Dabei kann der Industrieroboterarm z. B. die Bewegung bei der Bearbeitung eines großflächigen Werkstückes 1 unterstützen und die feinere Auslenkung in der beschriebenen Form mittels der Umlenkspiegel 4, 5 vorgenommen werden.

In der Fig. 6 ist wiederum eine andere Möglichkeit dargestellt, wie die Erfindung günstigerweise eingesetzt werden kann. Hierbei werden zwei Werkstücke 1 und 1' durch eine Punktschweißverbindung miteinander verbunden. Dabei kann wiederum durch die Überlagerung der Vorschubbewegung der Werkstücke 1 und 1' mit der Auslenkung des Laserstrahls 2 die Bearbeitungsgeschwindigkeit beträchtlich erhöht werden. Durch das erfindungsgemäße Vorgehen ist es aber besonders vorteilhaft, daß der Wärmeeintrag für jeden einzelnen Schweißpunkt gleich gehalten werden kann, so daß immer eine gleichbleibende und homogene Verbindung für jeden einzelnen Schweißpunkt erreicht werden kann und demzufolge die Festigkeit der einzelnen Schweißpunktverbindungen an den beiden Werkstücken 1 und 1' konstant zu halten ist.

Außerdem kann die Wärmebeeinflussung der beiden Werkstücke 1 und 1' lokal begrenzt, immer exakt um die einzelnen Schweißpunkte herum verteilt gehalten werden, was sich für viele Einsatzzwecke als günstig erwiesen hat.

Patentansprüche

1. Verfahren für einen lokal gezielten, punktwoise Wärmeeintrag mit einem Laserstrahl auf die Oberflä-

che von translatorisch und/oder rotatorisch bewegten Werkstücken, bei dem die Vorschubbewegung des/der Werkstücke(s) durch eine dieser Vorschubbewegung nachfolgende Auslenkung des Laserstrahls (2) kompensiert wird, dadurch gekennzeichnet, daß der Strahlfleck auf einem vorgebbaren Punkt gehalten wird, so daß eine Relativbewegung zwischen vorgebarem Punkt auf dem/den Werkstück(en) (1, 1') und dem Strahlfleck über einen vorgegebenen Zeitraum, für einen definierten Wärmeeintrag, verhindert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kompensierung der Vorschubbewegung des/der Werkstücke(s) (1, 1') in vorgebbaren Zeit-Intervallen durchgeführt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (2) nach Beendigung des Wärmeeintrages an einem Punkt in eine Ausgangslage zurückgeführt oder auf einen neuen Punkt auf der Oberfläche gerichtet und die Kompensation an einem neuen Punkt wiederholt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (2) in mindestens zwei Achsen ausgelenkt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (2) mittels einer Strahlformungseinheit (3) dem jeweiligen Abstand des Punktes entsprechend fokussiert wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Abstand des/der Werkstücke(s) (1, 1') mittels mindestens eines Abstandssensors (6) gemessen und mit dem gemessenen Abstand über eine Steuerung (10) die Strahlformungseinheit (3) beeinflusst wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß für die Auslenkung des Laserstrahls (2) mindestens ein Umlenkspiegel (4, 5) verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß für die Auslenkung eines gepulsten Laserstrahls (2) der/die Umlenkspiegel (4, 5) in bestimmten Winkeln stufenweise verschwenkt wird/werden.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Pulsfrequenz des Laserstrahls (2) mit der Geschwindigkeit der Vorschubbewegung synchronisiert wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß in einem Werkstück (1) mindestens eine Bohrung (11) ausgebildet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Bohrungen (11) achsparallel zueinander ausgebildet werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Tiefe der Bohrung (11) gemessen wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Dicke des/der Werkstücke(s) (1, 1') gemessen wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, daß in einer Instrumententafel eines Kraftfahrzeuges ein Airbagöffnungsbereich ausgebildet wird, in dem der Kontur des Airbagöffnungsbereiches folgend in gleichmäßigen Abständen parallele Bohrungen eingebracht werden.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, daß für jede einzelne Bohrung (11) die Positionskordinaten und die gemessene Tiefe der Bohrung (11) in digitalisierter Form in ein elektronisches Spei-

chermmedium eingegeben werden.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Werkstücke (1, 1') durch Punktschweißung miteinander verbunden werden.

17. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Werkstück (1) auf einer translatorisch bewegbaren Werkstückaufnahme oder einem Drehteller angeordnet ist und ein Laserstrahl (2) einer Laserlichtquelle (9) über mindestens einen Umlenkspiegel (4, 5) auf die Oberfläche des Werkstückes (1) gerichtet ist, wobei der Umlenkspiegel (4) um eine Achse entsprechend der Vorschubgeschwindigkeit des Werkstückes (1) gleichförmig oder in vorgebbaren Winkelschritten verschwenkbar ist.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Laserstrahl (2) über einen zweiten Umlenkspiegel (5), dessen Schwenkachse orthogonal zur Schwenkachse des ersten Umlenkspiegels ausgerichtet ist, auf das Werkstück (1) gerichtet ist.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein, über eine elektronische Steuerung (10) eine Laserstrahlformungseinheit (3) beeinflussender Abstandssensor (6) vorhanden ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß ein zweiter Sensor (7) zur Bestimmung der orts aufgelösten Dicke des Werkstückes (1) vorhanden ist.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß ein annähernd parallel zum Laserstrahl (2) ausgerichteter Sensor (12) zur Bestimmung der Bohrungstiefen vorhanden ist.

22. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß Werkstückaufnahme oder Drehteller mit einer CNC-Steuerung verbunden sind.

23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß Antriebe für den/die Umlenkspiegel (4, 5) und die Strahlformungseinheit (3) mit der CNC-Steuerung verbunden sind.

24. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 17 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß ein Umlenkspiegel (5) in einem Bearbeitungskopf (8) aufgenommen ist, der in mindestens einer Achse translatorisch bewegt oder um mindestens eine Achse verschwenkt werden kann.

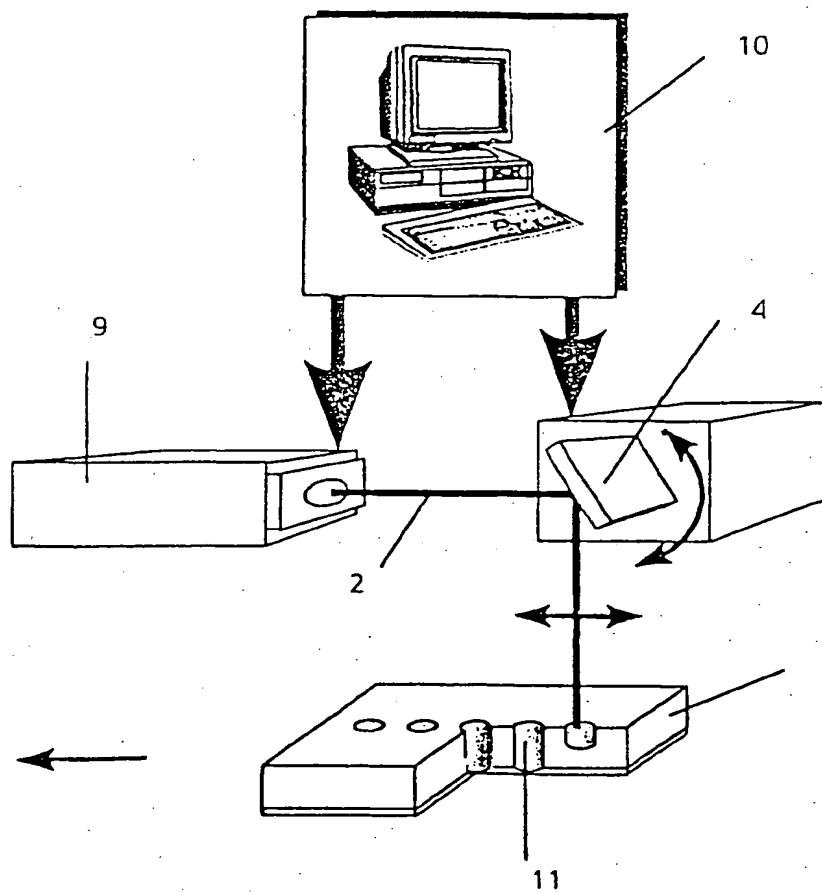
Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen

50

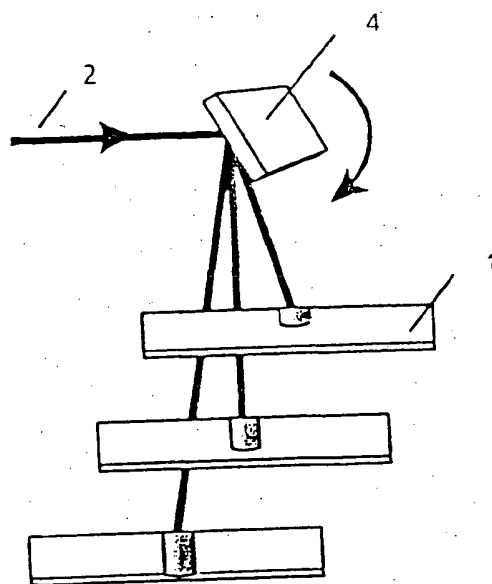
55

60

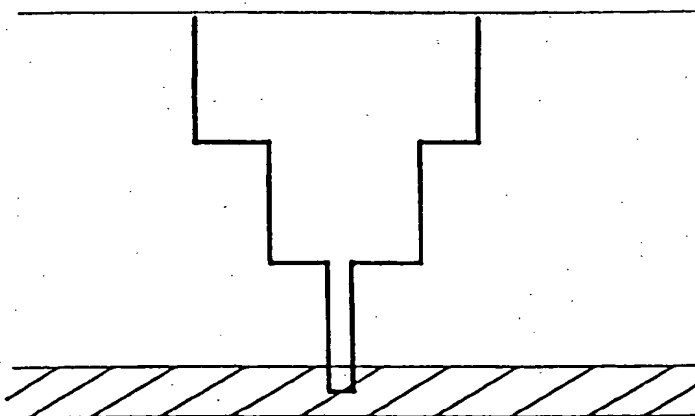
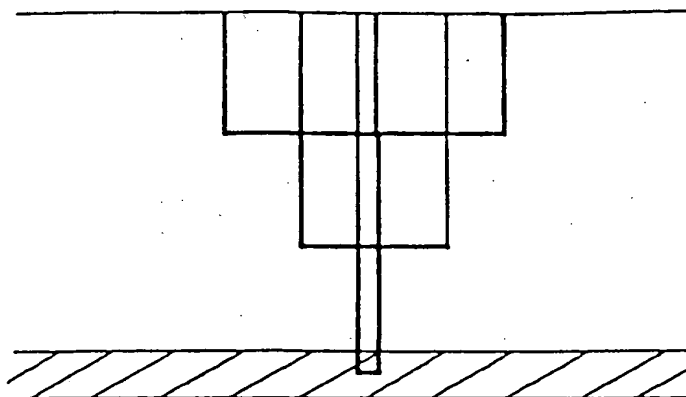
65



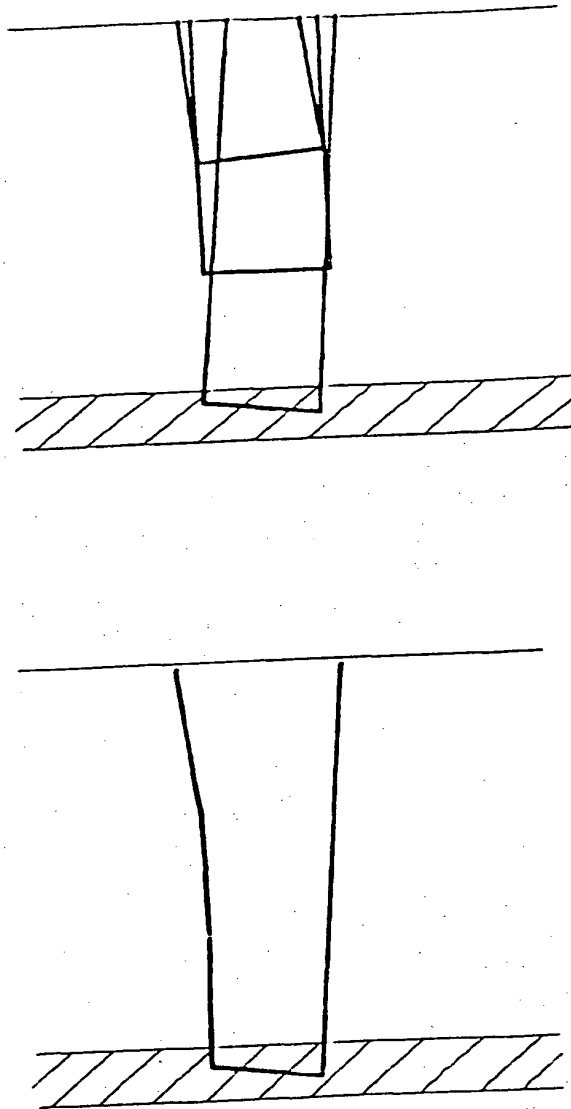
Figur 1



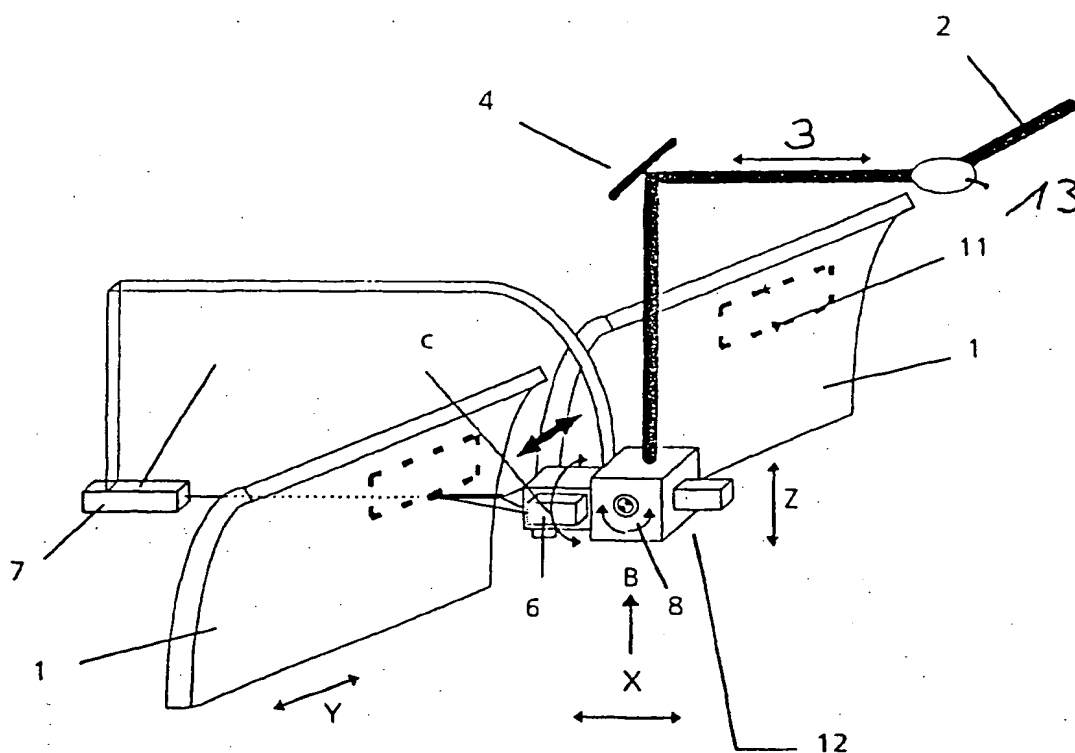
Figur 2



Figur 3



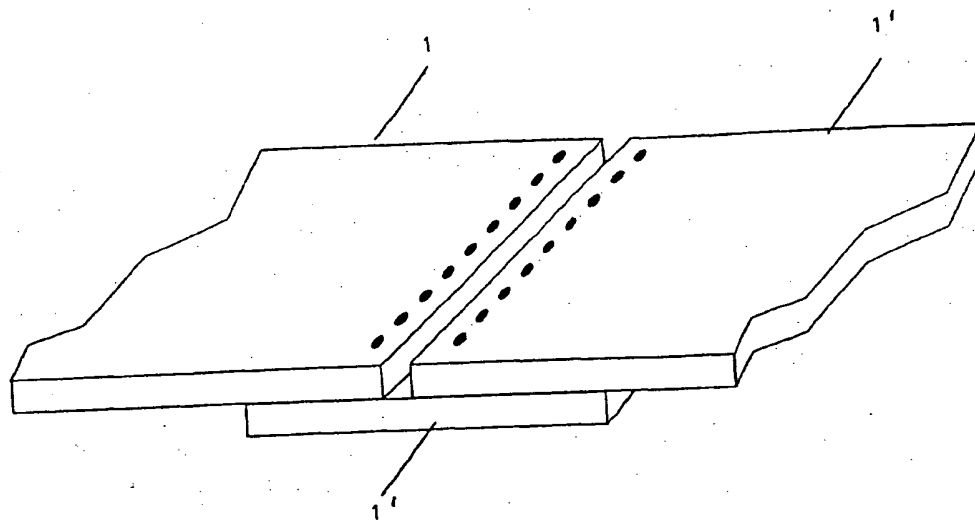
Figur 4



Figur 5

05.01.99

6/6



Figur 6

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☒ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)